

USPS EXPRESS MAIL  
EV 511 024 67 US  
DECEMBER 09 2004

10/517808  
DT12 Rec'd PCT/PTO 09 DEC 2004

Doc. No.: 4814/PCT  
Inventor: Konrad KAPSER  
Ulrich PRECHTEL  
Helmut SEIDEL  
Filed: December 9, 2004

2/10/04

COPY INTERNATIONAL APPLICATION NO. PCT/DE03/01922  
AS FILED ON JUNE 10, 2003

(IN THE GERMAN LANGUAGE)

5

Mehrachsiger monolithischer Beschleunigungssensor

10 Die Erfindung betrifft einen drei- bzw. zweiachsigen monolithischen Beschleunigungssensor nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 bzw. 3.

15 Aus der US-Patentschrift US 6 122 965 A bzw. aus der korrespondierenden deutschen Patentschrift DE 196 49 715 C2 ist eine Anordnung zum Messen von Beschleunigungen bekannt, die aus vier einzelnen, auf einem gemeinsamen Substrat in einem Rechteck angeordneten Einzelsensoren mit jeweils  
20 einer Hauptempfindlichkeitsachse besteht. Jeder Einzelsensor weist ein Paddel mit einem Schwerpunkt als seismische Masse auf. Die Hauptempfindlichkeitsachsen der jeweiligen Einzelsensoren weisen jeweils einen Fehlwinkel zur Normalen der Substratoberfläche auf. Die Richtung jeder Rechteckseite und die zugehörige Hauptempfindlichkeitsachse spannen jeweils eine Ebene  
auf und die Ebenen der auf einer Diagonale liegenden Einzelsensoren sind einander zugeneigt.

Nachteilig hierbei ist, dass der Fehlwinkel zwischen einer Hauptempfindlichkeitsachse und der Normalen zur Substratoberfläche nur in einem begrenzten Bereich von höchstens 20° einstellbar ist.

25 Aus der PCT-Anmeldung WO 89/05459 ist ein mikromechanischer Beschleunigungsmesser bekannt, bei dem zur Erfassung mehrdimensionaler Bewegungsänderungen drei jeweils für die Beschleunigung in einer ausgewählten Richtung empfindliche mikromechanische Sensoren monolithisch in einem  
30 Kristall integriert sind. Die Sensoren bestehen aus Torsionsbalken mit exzentrisch angebrachten Massen, die bei Bewegungsänderungen Drehmomente um die Achsen der Torsionsbalken ausüben. Die Drehmomente werden mit Hilfe integrierter Piezowiderstände gemessen.

5 Dieser Beschleunigungsmesser weist Einzelemente unterschiedlicher Konstruktionsprinzipien in Bezug auf die X- und Y-Achse bzw. die Z-Achse auf. Daraus ergeben sich unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich Empfindlichkeit, Frequenzgang oder Dämpfungsverhalten. Ferner werden hohe Anforderungen an die Auswerteelektronik gestellt, was den Einsatz in Fahrzeugen nahezu ausschließt.

10 Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Beschleunigungssensor nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 bzw. 3 so zu gestalten, dass ein größerer Fehlwinkel einstellbar ist und die Signale der Einzelsensoren schnell und einfach ausgewertet werden können.

Gelöst wird diese Aufgabe durch einen drei- bzw. zweiachsigen monolithischen Beschleunigungssensor mit den im Anspruch 1 bzw. 3 angegebenen Merkmalen.

15 Der Gegenstand des Anspruchs 1 bzw. 3 weist die Vorteile auf, dass ein größerer und auch idealer Fehlwinkel von  $45^\circ$  einstellbar ist und das auf planare, differentielle kapazitive Signalauslesung ausgerichtete Messprinzip zu besonders stabilen Sensoren führt.

Die Erfindung eignet sich insbesondere für hochwertige, offsetstabile kapazitive Sensoren zum Einsatz in Fahrzeugen.

20 Vorteilhafte Ausgestaltungen des Beschleunigungssensors nach Anspruch 1 bzw. 3 sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die Erfindung wird nun anhand eines Ausführungsbeispiels unter Zuhilfenahme der Zeichnung erläutert.

Es zeigen

25 Fig. 1: eine Draufsicht auf einen erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor, bestehend aus vier identischen Einzelsensoren auf einem gemeinsamen Substrat,

Fig. 2: eine Schnittzeichnung durch die Anordnung nach Fig. 1 mit zwei Einzelsensoren und deren seismischer Masse,

Fig. 3a: die Auslenkung der seismischen Massen der Einzelsensoren nach Fig. 2 in Folge einer in X-Richtung wirkenden beschleunigenden Kraft und

Fig. 3b: die Auslenkung der seismischen Massen der Einzelsensoren nach Fig. 2 in Folge einer in Z-Richtung wirkenden beschleunigenden Kraft.

Die Fig. 1 zeigt einen Beschleunigungssensor 1 zur dreiachsigen Messung von Beschleunigungen, bestehend aus vier identischen Einzelsensoren 2a, 2b, 2c und 2d. Jeder Einzelsensor 2a-d weist eine seismische Masse 3a, 3b, 3c bzw. 3d mit einem Schwerpunkt  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  und  $S_d$  auf, wobei jede seismische Masse 3a-d exzentrisch gegenüber ihrem Schwerpunkt  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  und  $S_d$  an zwei Torsionsfederelementen 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, 4f, 4g bzw. 4h drehbeweglich aufgehängt ist. Jedes Torsionsfederelement 4a-g ist seinerseits wiederum mit einem Außenrahmen 5 verbunden. Der Außenrahmen 5 hält die vier Einzelsensoren 2a-d zusammen und ist durch einen Zwischenrahmen 6 unterteilt.

Eine aus lediglich zwei Einzelsensoren 2a und 2c bzw. 2b und 2d bestehende Anordnung kann als Sensorelement zur Messung von zweiachsigen Beschleunigungen verwendet werden; zur Messung von dreiachsigen Beschleunigungen werden wenigstens drei der vier Einzelsensoren 2a-d benötigt. Jeder Einzelsensor 2a-d ist gegenüber den drei anderen Einzelsensoren 2a-d um  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  und  $270^\circ$ , allgemein ein Vielfaches von  $90^\circ$ , gedreht. Bei der Verwendung aller vier Einzelsensoren 2a-d ist eine redundante Information vorhanden, die eine permanente Konsistenzprüfung der Ausgangssignale ermöglicht.

In Fig. 2 ist der Beschleunigungssensor 1 der Fig. 1 im Schnitt A-A dargestellt. Eine aus Silizium bestehende und auf bekannte mikromechanische Weise strukturierte Scheibe ist als gemeinsames Substrat 8 der vier Einzelsensoren 2a-d zwischen einer unteren Deckscheibe 7 und einer oberen Deckscheibe 9 angeordnet und beispielsweise durch Wafer-Bondung mit die-

sen verbunden, wobei die untere Deckscheibe 7 und die obere Deckscheibe 9 ebenfalls aus Silizium bestehen. Mittels eines Ätzprozesses sind in die Scheibe 8 die seismischen Massen 2a-d der Einzelsensoren 3a-d, die Torsionsfederelemente 4a-h und der Zwischenrahmen 6 strukturiert.

- 5 Auf der Innenseite der oberen Deckscheibe 9 sind über jeder seismischen Masse 3 und vorzugsweise symmetrisch zur vom jeweiligen Torsionsfederelement 4 definierten Torsionsachse metallisierte, von einander isolierte Flächen 10a, 10b, 10c und 10d strukturiert, die zur differentiellen kapazitiven Messung der Drehbewegung einer seismischen Masse 3 beim Einwirken einer Beschleunigungskraft dienen.

- 10 Jede seismische Masse 3a-d weist eine durch den jeweiligen Schwerpunkt  $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$  und  $S_d$  verlaufende Hauptempfindlichkeitsachse 11 auf, dargestellt am Einzelsensor 2b mit der Hauptempfindlichkeitsachse 11b und analog geltend für die Einzelsensoren 2a, 2c und 2d, deren Richtung infolge der einseitigen Aufhängung der seismischen Masse 3b und infolge des ausgelagerten Masseschwerpunkts  $S_b$  nicht parallel zu einer jeweiligen Normalen 12b verläuft.

- 20 Die Aufhängung der seismischen Masse 3b an zwei Torsionsfederelementen 4c, 4d ergibt eine Drehachse  $D_b$ , um den sich die seismische Masse 3b beim Einwirken einer beschleunigenden Kraft dreht. Bezeichnet man den Abstand zwischen der Drehachse  $D_b$  und dem Schwerpunkt  $S_b$  in X-Richtung als Abstand a und den Abstand zwischen der Drehachse  $D_b$  und dem Schwerpunkt  $S_b$  in Z-Richtung als Abstand b, so berechnet sich der Fehlwinkel  $\Phi$  folgendermaßen:

25 
$$\tan \Phi = \frac{b}{a}$$

- 30 Der Fehlwinkel  $\Phi$  lässt sich über die Gestaltung jeder seismischen Masse 3 über weite Grenzen einstellen. Aufgrund des identischen Aufbaus ist der Fehlwinkel  $\Phi$  bei allen Einzelsensoren 2a-d gleich groß; geeignete Werte für den Fehlwinkel  $\Phi$  sind frei einstellbar, auch ein Fehlwinkel  $\Phi$  von 45° als Idealfall im orthogonalen Koordinatensystem. Das Prinzip ist auch verallgemei-

nerbar, so dass die Einzelsensoren **2a-d** unterschiedliche Fehlwinkel  $\Phi$  aufweisen können.

Um in X-, Y- und Z-Richtung wirkende Beschleunigungskräfte messen zu können, wird die Hauptempfindlichkeitsachse **11b** in eine Komponente **13b** parallel zur Normalen **12b** und in eine Komponente **14b** senkrecht zur Normalen **12b** zerlegt.

Die zum Einzelsensor **2b** gemachten Aussagen gelten analog auch für die Einzelsensoren **2a**, **2c** und **2d**. Da die Einzelsensoren **2a-d** und insbesondere die seismischen Massen **3a-d** bedingt durch den Herstellungsprozeß weitgehend gleiche geometrische Abmessungen aufweisen, ist jeweils ihre Empfindlichkeit in X-Richtung, ihre Empfindlichkeit in Y-Richtung und ihre Empfindlichkeit in Z-Richtung ebenfalls weitgehend gleich.

Fig. 3a zeigt die Auslenkung der seismischen Massen **3b** und **3d** der Einzelsensoren **2b** und **2d** nach Fig. 2 in Folge einer in X-Richtung wirkenden beschleunigenden Kraft, die durch einen Pfeil **15** dargestellt ist. Das Zerlegen der beschleunigenden Kraft **15** ergibt eine Komponente **16** auf der Geraden durch **D<sub>d</sub>** und **S<sub>d</sub>** und eine Komponente **17** senkrecht dazu. Die Komponente **17** führt zu einer Drehbewegung der seismischen Masse **3b** bzw. **3d** um die Drehachse **D<sub>b</sub>** bzw. **D<sub>d</sub>**, die durch differentielle kapazitive Messung mittels der metallischen Flächen **10a** und **10b** bzw. **10c** und **10d** detektiert wird. Durch trigonometrische Gleichungen wird die Größe der auf den Sensor **1** einwirkenden beschleunigenden Kraft **15** berechnet.

Bei einer in X-Richtung wirkenden beschleunigenden Kraft **15** ist die Drehbewegung der seismischen Masse **3b** bzw. **3d** um die Drehachse **D<sub>b</sub>** bzw. **D<sub>d</sub>** gemäß eines Pfeiles **18** gleichsinnig, die seismischen Massen **3a** und **3c** (Fig. 1) erfahren keine Drehbewegung.

Bei einer in Y-Richtung wirkenden beschleunigenden Kraft erfahren die seismischen Massen **3a** bzw. **3c** eine Drehbewegung um die Längsachse der Torsionselemente **4a** und **4b** bzw. **4e** und **4f**, hingegen erfahren in diesem Fall die seismischen Massen **3b** bzw. **3d** keine Drehbewegung um ihre Drehachse **D<sub>b</sub>** bzw. **D<sub>d</sub>**.

Fig. 3b zeigt die Auslenkung der seismischen Massen 3b und 3d der Einzelsensoren 2b und 2d nach Fig. 2 in Folge einer in Z-Richtung wirkenden beschleunigenden Kraft, dargestellt durch einen Pfeil 19. Analog zum Beispiel der Fig. 3a ergibt das Zerlegen der beschleunigenden Kraft 19 eine Komponente 20 auf der Geraden durch  $D_d$  und  $S_d$  und eine Komponente 21 senkrecht dazu. Die Komponente 21 führt zu einer Drehbewegung der seismischen Masse 3b bzw. 3d um die Drehachse  $D_b$  bzw.  $D_d$ , die wiederum durch differentielle kapazitive Messung mittels der metallischen Flächen 10a und 10b bzw. 10c und 10d detektiert wird. Durch trigonometrische Gleichungen wird die Größe der auf den Sensor 1 einwirkenden beschleunigenden Kraft 19 berechnet.

Bei einer in Z-Richtung wirkenden beschleunigenden Kraft 19 ist die Drehbewegung der seismischen Masse 3b bzw. 3d um die Drehachse  $D_b$  bzw.  $D_d$  gemäß eines Pfeiles 22 bzw. 23 gegensinnig. Zudem ist die Drehbewegung der seismischen Masse 3a (Fig. 1) gegensinnig zur Drehbewegung der seismischen Masse 3c.

## Patentansprüche

- 5 1. Dreiachsiger monolithischer Beschleunigungssensor (1), der folgende Merkmale aufweist:
- a) der Beschleunigungssensor (1) besteht aus mehreren, auf einem gemeinsamen Substrat (8) angeordneten Einzelsensoren (2a-d) mit jeweils einer Hauptempfindlichkeitsachse (11),
  - 10 b) jeder Einzelsensor (2a-d) ist an zwei Torsionsfederelementen (4a-h) drehbeweglich aufgehängt und weist eine seismische Masse (3a-d) mit einem Schwerpunkt ( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ ) auf,
  - c) jeder Einzelsensor (2a-d) weist Mittel zur Messung (10) der Auslenkung der seismischen Masse (3a-d) auf,
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- 15 d) der Beschleunigungssensor (1) aus wenigstens drei identischen Einzelsensoren (2a-d) besteht,
  - e) jeder Einzelsensor (2a-d) exzentrisch gegenüber seinem Schwerpunkt ( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ ) aufgehängt und
  - 20 f) gegenüber den anderen Einzelsensoren (2a-d) um  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  oder  $270^\circ$  gedreht ist.
2. Beschleunigungssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die wenigstens drei identischen Einzelsensoren (2a-d) in einem Rechteck angeordnet sind.
- 25 3. Zweiachsiger monolithischer Beschleunigungssensor (1), der folgende Merkmale aufweist:
- a) der Beschleunigungssensor (1) besteht aus zwei, auf einem gemeinsamen Substrat (8) angeordneten Einzelsensoren (2a-d) mit jeweils einer Hauptempfindlichkeitsachse (11),

- b) jeder Einzelsensor (2a-d) ist an zwei Torsionsfederelementen (4a-h) drehbeweglich aufgehängt und weist eine seismische Masse (3a-d) mit einem Schwerpunkt ( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ ) auf,
- 5 c) jeder Einzelsensor (2a-d) weist Mittel zur Messung (10) der Auslenkung der seismischen Masse (3a-d) auf,
- dadurch gekennzeichnet, dass**
- d) der Beschleunigungssensor (1) aus zwei identischen Einzelsensoren (2a-d) besteht,
- 10 e) jeder Einzelsensor (2a-d) exzentrisch gegenüber seinem Schwerpunkt ( $S_a$ ,  $S_b$ ,  $S_c$ ,  $S_d$ ) aufgehängt und gegenüber dem anderen Einzelsensor (2a-d) um  $180^\circ$  gedreht ist und
- f) die Hauptempfindlichkeitsachse (11) des einen Einzelsensors (2a-d) vertikal zum Substrat (8) und die Hauptempfindlichkeitsachse (11) des anderen Einzelsensors (2a-d) vertikal zum Substrat (8) verläuft.
- 15 4. Beschleunigungssensor nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (8) zur Abdichtung und zum Schutz vor Umwelteinflüssen zwischen einer unteren Deckscheibe (7) und einer oberen Deckscheibe (9) angeordnet ist.
- 20 5. Beschleunigungssensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Auslenkung jeder seismischen Masse (3a-d) mittels einer differentiellen kapazitiven Messung erfolgt.
- 25 6. Beschleunigungssensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur differentiellen kapazitiven Messung an der oberen Deckscheibe (9) in der Nähe der durch das jeweilige Torsionsfederelement (4a-h) definierten Torsionsachse metallisierte und von einander isolierte Flächen (10a-d) strukturiert sind.
7. Beschleunigungssensor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Flächen (10a-d) symmetrisch zu der durch das jeweilige Torsionsfederelement (4a-h) definierten Torsionsachse angeordnet sind.



## Zusammenfassung

### 1. Mehrachsiger monolithischer Beschleunigungssensor

5 2.1. Bei bekannten Beschleunigungssensoren ist der Fehlwinkel zwischen Hauptempfindlichkeitsachse und der Normalen nur in einem Bereich von höchstens 20° einstellbar. Oder die Beschleunigungssensoren weisen unterschiedliche Eigenschaften bezüglich der drei Raumachsen auf, was hohe Anforderungen an die Auswerteelektronik stellt und den Einsatz in  
10 Fahrzeugen ausschließt.

### 2.2. Mehrachsiger monolithischer Beschleunigungssensor, mit folgenden Merkmalen:

- 15 - der Beschleunigungssensor besteht aus mehreren, auf einem gemeinsamen Substrat angeordneten Einzelsensoren mit jeweils einer Hauptempfindlichkeitsachse,
- jeder Einzelsensor ist an zwei Torsionsfederelementen drehbeweglich aufgehängt und weist eine seismische Masse mit einem Schwerpunkt auf,
- 20 - jeder Einzelsensor weist Mittel zur Messung der Auslenkung der seismischen Masse auf,
- der Beschleunigungssensor besteht aus wenigstens drei identischen Einzelsensoren,
- jeder Einzelsensor ist exzentrisch gegenüber seinem Schwerpunkt aufgehängt und  
25 - gegenüber den anderen Einzelsensoren um 90°, 180° oder 270° gedreht.

2.3. Die Erfindung eignet sich insbesondere für hochwertige, offsetstabile kapazitive Sensoren zum Einsatz in Fahrzeugen.

(Fig. 1)

USPS EXPRESS MAIL  
EV 511 024 267 US  
DECEMBER 09 2004